

# Les apports des nouvelles technologies numériques pour la maintenance et l'exploitation du parc nucléaire d'EDF

Par Grégoire MOREAU

Direction Recherche et Développement d'EDF

Bruno SUTY

Directeur des Systèmes d'Information et de la Transition numérique industrielle de la Direction du Parc Nucléaire et Thermique d'EDF et Vincent PERTUY

Architecte d'entreprise de la Direction du Parc Nucléaire et Thermique d'EDF

## Le contexte du parc nucléaire d'EDF

Précisons tout d'abord quelques éléments de contexte relatifs au parc électronucléaire exploité par EDF. Ce parc est constitué de cinquante-huit réacteurs, de même technologie connue sous l'appellation « Réacteur à Eau sous Pression » (REP) issue de la filière « Pressurized Water Reactor » (PWR) conçue aux États-Unis. L'âge moyen des réacteurs est de trente-deux ans. La construction de la majorité d'entre eux a été décidée après la survenance de la crise pétrolière de 1973 : il s'agissait alors du programme électronucléaire français. Pour des questions de productivité, ces réacteurs ont été conçus par séries appelées « paliers » (cf. figure 1). Les réacteurs d'un même palier sont standardisés dans leur *design* comme pour le choix des matériels. On est donc en présence de flottes de matériels identiques fonctionnant sur différents réacteurs simultanément. Un modèle cohérent de données de description des installations ayant été adopté dès l'origine, les inter-comparaisons sont possibles et particulièrement pertinentes pour optimiser la performance de l'exploitation.

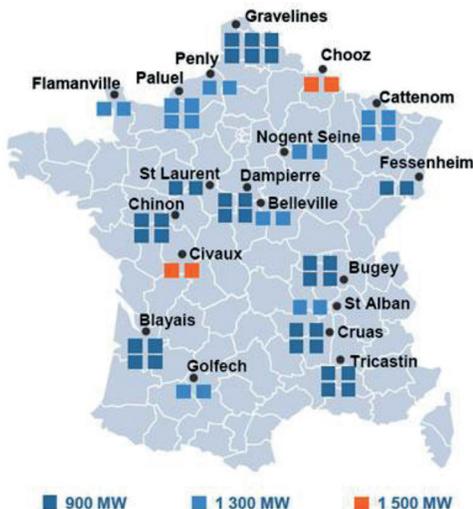


Figure 1 – Parc nucléaire en exploitation d'EDF. ©EDF

Le second élément de contexte concerne les enjeux de ce parc. En tout premier lieu, il y a un impératif de sûreté associé à l'exploitation électronucléaire et qu'on retrouve à plusieurs niveaux : choix de conception, règles d'exploitation et également implication managériale. Une des clés de voûte du management de la sûreté est le retour d'expérience. Chaque événement qui survient doit être méthodiquement analysé pour éviter qu'il ne se reproduise. Cette exigence impose de conserver toutes les données et ceci est valable pour toutes les phases de vie de ces cinquante-huit réacteurs : conception, construction, exploitation puis déconstruction. Par ailleurs, la performance de ce parc est pour partie liée à la capacité

de l'exploitant à optimiser les volumes de maintenance car ils impactent directement la durée des arrêts de réacteur.

De ces éléments de contexte résulte l'existence pour le parc nucléaire d'un gros volume de données disponibles et ordonnées, propices à la mise en œuvre des techniques naissantes du « Data Analytics ».

Concrètement, ces nouvelles techniques permettent de mener à bien des analyses dont des exemples, ou cas d'usages, sont décrits plus bas. Ces analyses n'étaient auparavant réalisées qu'au prix d'efforts conséquents de collecte et consolidation des données d'historique relatives au problème à traiter à partir de sources distinctes.

Il est utile à ce stade de préciser que ces analyses sont grandement facilitées par la mise en place d'une infrastructure de type Big Data, permettant de stocker et traiter des données massives et hétérogènes. La Direction du parc nucléaire d'EDF a décidé d'investir dans ce type d'infrastructure en 2015. À l'horizon du projet, EDF disposera pour optimiser son exploitation d'un *data lake* de type Hadoop comportant une grande variété de données numériques, textuelles, structurées ou non. Il s'agira principalement et de manière non exhaustive :

- de données de *process* : séries temporelles issues des capteurs présents sur l'installation (pression, température, débit, niveau, vibration...), relevés de rondes d'exploitation, relevés issus de la surveillance chimique et radiochimique des circuits ;
- de données de contexte issues de la GMAO (Gestion de Maintenance assistée par Ordinateur), de bases d'analyses d'événements d'exploitation, des progiciels de planification et de consignation<sup>(1)</sup> des installations.

## **Les cas d'usages opérationnels déployés ou en cours de déploiement et les techniques d'analyse mises en œuvre**

Le premier usage, qui pourrait sembler d'abord trivial, concerne la visualisation des données. En effet, agréger de façon claire, intelligible et rapide de gros volumes de données grâce à des outils de « data visualisation » performants constitue le premier besoin commun à l'ensemble des utilisateurs. Les nouveaux outils permettent en particulier de visualiser aisément des données hétérogènes. Ceci améliore par exemple la réactivité des personnes en charge de surveiller et diagnostiquer l'état des matériels. En effet, lors de la détection d'une évolution des paramètres de fonctionnement du matériel, ce type d'outil leur fournit une vision consolidée des sollicitations subies, des opérations de maintenance réalisées et du retour d'expérience d'évolutions comparables déjà survenues sur les matériels analogues du parc.

Un deuxième usage concerne les transitoires d'exploitation, c'est-à-dire les périodes pendant lesquelles on conduit l'installation d'un état de référence caractérisé par des variables physiques stables vers un autre état de référence. La bonne maîtrise de ces transitoires est un enjeu important pour l'exploitant. En effet, un transitoire est une phase d'exploitation qui augmente la probabilité d'atteindre un seuil de protection de l'installation, le plus redouté étant l'« Arrêt Automatique Réacteur » qui conduit à une mise à l'arrêt très rapide ; il est donc potentiellement pénalisant en termes de sûreté et de production. Par ailleurs, les transitoires sollicitent les matériels et ont donc une incidence sur leur durée de vie, ce qu'on vérifie sur l'exemple des circuits soumis à pression : lors de leur conception, ils sont dimensionnés pour pouvoir subir en service un certain nombre de situations de pression et température correspondant à un chargement mécanique, mais il convient,

---

(1) La consignation est une suite chronologique d'opérations indispensables et réglementées sur les installations qui permettent d'assurer la sécurité du personnel pendant son intervention.

en exploitation, d'effectuer une comptabilisation de ces situations de pression et de température occasionnées lors des transitoires. Optimiser la conduite de l'installation avec une optique de durée de vie des matériels et de sûreté passe donc par des analyses *a posteriori* des transitoires. Il s'avère que celles-ci sont grandement facilitées par les outils de « Data Analytics » qui permettent d'examiner rapidement de gros volumes de données de *process* en identifiant les transitoires.

Un troisième usage concerne la maintenance prédictive des matériels. Dans un contexte économiquement contraint, ce type de maintenance repose sur une prévision de la dégradation des matériels qui permet de planifier les actes de maintenance de façon optimale avant la survenue de leur défaillance. Lorsque le retour d'expérience sur le matériel est important et qu'un certain nombre de défaillances ont été observées, une étude statistique permet d'établir une loi de fiabilité du matériel. Une telle étude nécessite un travail préalable indispensable de recueil, de prétraitement et de mise au format des données, travail qui a longtemps constitué un frein souvent rédhibitoire pour la mise en œuvre de ces approches. Là encore, quelques cas d'usages traités ont montré que l'emploi du « Data Analytics » facilitait grandement ce type d'étude et qu'il permettait, grâce au croisement aisé des différentes bases de données, d'établir des lois de fiabilité intégrant les facteurs d'influence que sont les conditions d'usage du matériel (durées de fonctionnement, cumul de manœuvres, de mises en service ou de mises à l'arrêt, conditions d'ambiance, caractéristiques chimiques du fluide véhiculé, etc.). Le déploiement généralisé de ces méthodes va permettre d'actualiser plus fréquemment les programmes de maintenance préventive en définissant des périodicités de maintenance des matériels en fonction de leur usage. Par ailleurs, à l'heure où le parc nucléaire est engagé dans un programme sans précédent pour prolonger la durée de fonctionnement de ses réacteurs au-delà de quarante ans, ces approches vont permettre d'optimiser les programmes de remplacement des gros composants en y établissant des priorités, ce qui engendrera des gains financiers.

Ces quelques usages du « Data Analytics » ne représentent qu'une partie du potentiel de valorisation des données pressenti sur le parc nucléaire. Sur les autres filières de production, des perspectives existent également. Pour saisir ces opportunités, EDF dote l'ensemble de ses filières de production d'une entité commune dénommée « Usine Data Analytics pour la production ». Cette entité transverse est le fruit d'une réflexion menée par les directions métiers de production, par la filière Système d'Information et par la direction Recherche et Développement du groupe EDF. Elle regroupe des moyens techniques et humains permettant d'accélérer le passage du concept à l'application sur le terrain. Pour les parcs de production d'EDF, elle capitalise et mutualise les outils, méthodes et usages relatifs aux « Data Analytics ».

Explicitons à présent les principales techniques d'analyse de données mises en œuvre.

Les données issues des capteurs présents sur le *process* et rafraîchies en temps réel conduisent à mettre en œuvre des traitements très rapides de gros volumes de séries temporelles. Ceci est utilisé par exemple pour comptabiliser les situations de fonctionnement pénalisantes pour un matériel donné, ou bien pour établir une classification des modes de fonctionnement d'un matériel à partir de l'analyse du passé.

Le traitement de grandes quantités de comptes-rendus d'intervention issus de la GMAO et des bases de retours d'expériences nécessite d'exploiter les techniques de traitement automatique du langage (TAL), connues également sous le vocable de *text mining*. Ce sont ces techniques qui permettent par exemple d'obtenir une information structurée à partir d'un nombre important de comptes-rendus formalisés par des intervenants différents dans un champ en texte libre (exemple : fréquence de remplacement d'une pièce d'usure) et qui enrichissent les études de fiabilité.

Des techniques plus avancées sont à l'étude pour améliorer les systèmes d'*e-monitoring* (surveillance à distance) déployés sur le parc nucléaire. Ces systèmes sont basés sur une comparaison en temps réel des paramètres d'état du matériel avec les domaines de fonctionnement connus et issus

d'un apprentissage sur ce dernier. Ils permettent aujourd'hui de détecter précocement des anomalies avant défaillance sur un matériel en fonctionnement. Les améliorations visées portent sur l'établissement, presque en temps réel, d'un diagnostic, d'un pronostic et d'une aide à la décision après détection de l'anomalie. Les pistes explorées pour réaliser ces progrès passent par des algorithmes innovants de traitement de données massives et hétérogènes, ou encore par un couplage avec des modélisations physiques des composants permettant d'estimer l'évolution de l'anomalie, et donc la durée de vie résiduelle du matériel lorsque les données de défaillance sont peu nombreuses.

Enfin, les *data lakes* offrent l'opportunité d'utiliser les réseaux de neurones profonds pour modéliser des phénomènes complexes pour lesquels l'emploi des sciences de l'ingénieur n'a pas apporté de solutions satisfaisantes. Plusieurs études de ce type sont actuellement menées.

## Des exemples de travaux relatifs au « patrimoine data » du parc nucléaire

Comme expliqué précédemment, l'exploitation des données avec ces techniques émergentes en cours de déploiement va permettre au parc nucléaire d'EDF de réaliser des gains de performance significatifs. Cependant, cela ne doit pas occulter les efforts qui doivent être déployés pour augmenter et améliorer le potentiel intrinsèque du « patrimoine de données ».

Cette préoccupation est majeure dans le métier d'exploitant nucléaire. Pour l'illustrer, présentons ici deux chantiers majeurs d'amélioration menés dans ce domaine.

Le premier de ces chantiers est achevé, il concerne la structure des données. Bien que le parc nucléaire ait été construit comme indiqué plus haut par paliers, EDF ne tirait pas tous les bénéfices de la standardisation du fait de la non-prise en compte de l'effet de parc ou de palier dans les systèmes de GMAO utilisés jusqu'en 2010. Toute évolution du référentiel d'exploitation devait par exemple être déclinée séparément au niveau du système d'information de chaque centrale nucléaire. La rénovation du système d'information du nucléaire (Programme « SdIN ») entreprise depuis 2009 a été mise à profit pour résoudre ce problème. Concrètement, des évolutions fonctionnelles du progiciel d'*asset management* retenu ont été réalisées pour prendre en compte cette

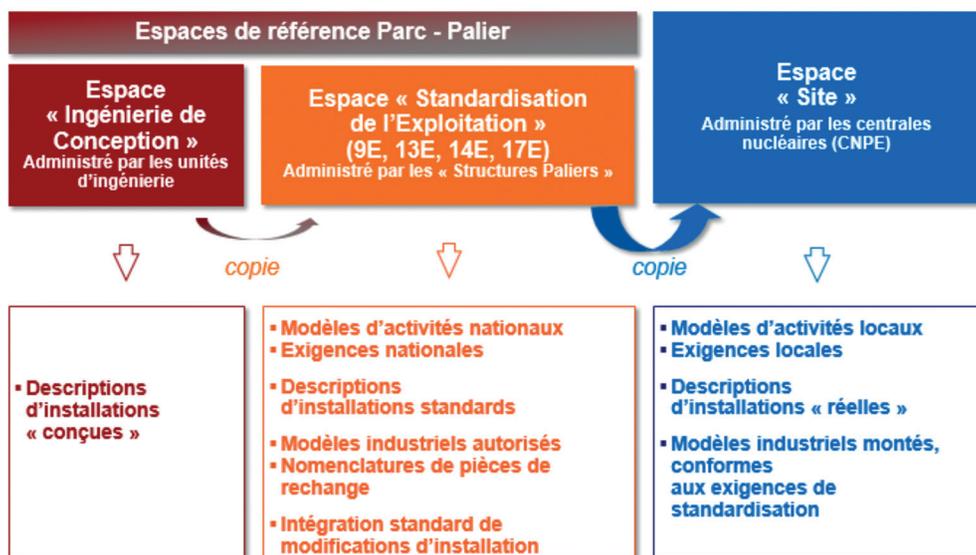


Figure 2 – Espaces des données de la GMAO des installations nucléaires d'EDF. ©EDF

particularité de son parc. Des données de référence techniques « palier » ont ensuite été créées : modèles de matériel installé, modèles d'exigence, modèles d'activité. Enfin, des structures spécifiques de gouvernance et de mise à jour de ces données ont été mises en place pour chaque palier (« Structures Paliers »). La figure 2 représente la logique des espaces d'informations retenue.

Le deuxième de ces chantiers est en cours et est relatif à la numérisation et à la collecte des données au plus proche du terrain. L'apparition des tablettes rend en effet possible la mise en œuvre de dossiers d'intervention électronique dénommés « e-DRT » (Dossier de Réalisation de Travaux électroniques) pour les opérations de maintenance et d'exploitation sur le terrain (cf. figure 3).

Cette évolution, en cours d'expérimentation sur 5 des 19 sites du parc nucléaire, nécessite un travail important de mise sous format électronique des procédures de travail. Elle apporte de multiples avantages :

- simplification du travail de l'intervenant avec un dossier plus lisible (gains sur la non-qualité de maintenance et donc sur la sûreté) ;
- amélioration du temps « métal » (temps uniquement consacré aux gestes techniques de l'intervention de maintenance), aide en ligne à l'intervenant depuis la tablette en cas d'événement non prévu, suivi de tendance en temps réel sur les relevés de paramètres, prise de photos...
- pas de double saisie des données relevées sur le terrain, archivage simplifié ;
- communication plus réactive sur l'avancement des activités vers l'équipe de pilotage et de coordination de l'ensemble des opérations de maintenance réalisées à l'occasion d'une mise à l'arrêt du réacteur (gain de productivité du fait de l'optimisation des enclenchements entre opérations).

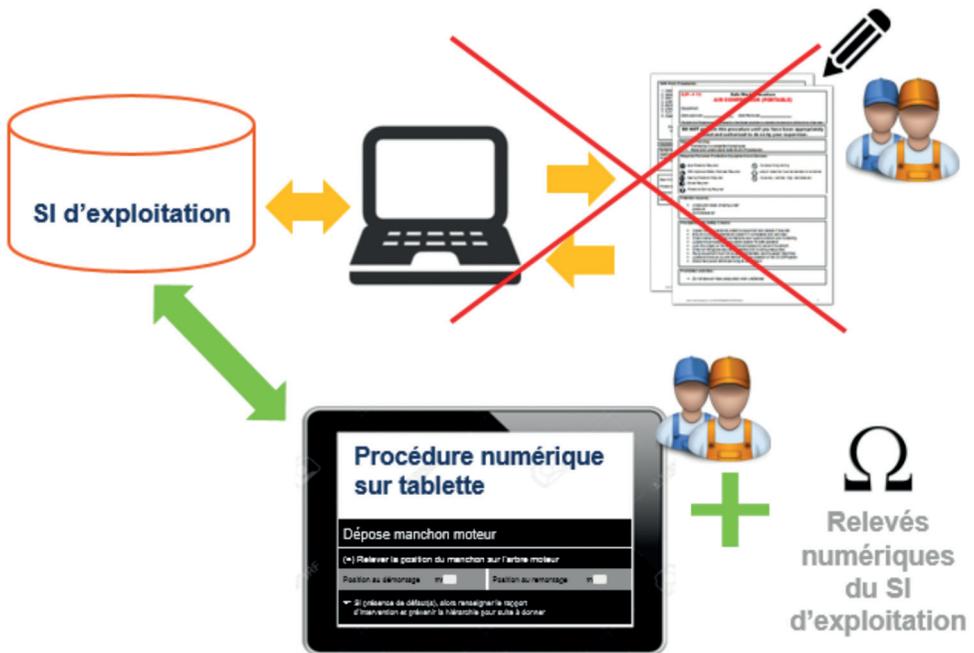


Figure 3 – Dossier de Réalisation des Travaux électroniques. ©EDF

## **En conclusion**

Le parc nucléaire d'EDF en exploitation, constitué de cinquante-huit réacteurs construits par paliers standardisés, dispose d'un patrimoine de données très riche, propice à l'utilisation des nouvelles techniques d'analyse de données permises par l'essor du Big Data.

Après une phase de démonstration de l'intérêt de ces techniques, la généralisation de l'usage des outils de « Data Analytics », menée conjointement aux démarches d'amélioration du « patrimoine données », constitue un levier au service des deux enjeux majeurs du parc nucléaire français : la sûreté et l'amélioration de la performance de l'exploitation et de la maintenance.